

времени. Для снижения пульсаций потребляемой мощности и, следовательно, уменьшения потерь в сети питания, целесообразно в качестве буферного источника энергии использовать батарейные системы накопления электрической энергии (БСНЭ), включающие в свой состав аккумуляторные батареи (АБ) требуемой емкости. Подзарядка АБ производится на интервале отсутствия движения электропоездов. Потребление энергии из сети питания во время прохождения по участку состава частично компенсируется за счет энергии, ранее накопленной в БСНЭ. Для минимизации просадок напряжения контактной сети БСНЭ могут устанавливаться как на территории существующих подстанций, так и между ними. Применение БСНЭ также позволит интегрировать в существующую систему электроснабжения солнечные и ветровые генераторы электрической энергии. Одной из последних разработок аккумуляторных батарей, подходящих для подобных решений, по мнению авторов, являются LiFePO_4 батареи, обладающие всеми положительными качествами классических литиевых АБ (высокая энергоемкость, наличие режимов быстрого заряда/разряда, отсутствие эффекта памяти, отсутствие необходимости периодического обслуживания), но при этом являются взрывобезопасными и имеют гораздо больший срок жизни.

Для обеспечения нормальной работы аккумуляторной батареи, в процессе ее эксплуатации требуется постоянно отслеживать уровень заряда каждого из элементов батареи, предотвращая его выход за допустимые границы. Кроме того, необходимо выравнивать значения напряжения каждого из последовательно включенных элементов между собой. Эта задача возлагается на систему управления аккумуляторной батареей - BMS (Battery Management System). Предложенная структура BMS включает в себя N обратных преобразователей, где N – количество элементов батареи в секции. Преобразователи выполнены на многообмоточном трансформаторе, причем к каждому элементу батареи через коммутирующие элементы подключена одна первичная и одна вторичная обмотка трансформатора обратного преобразователя. Для измерения уровней напряжения каждый аккумулятор на короткое время подключается к обмотке трансформатора (режим сканирования). В это время на дополнительной измерительной обмотке системой управления фиксируется значение соответствующего напряжения. За N циклов система управления получает сведения об уровне напряжения на каждом из аккумуляторов секции. В случае превышения допустимой разницы в уровнях напряжения элементов секции, производится отбор мощности от максимально заряженного элемента АБ и передача ее элементу с наименьшим уровнем заряда. Во время прямого хода обратного преобразователя происходит отбор энергии от аккумулятора, имеющего избыточный заряд и измерение уровня напряжения на нем, а на обратном ходу передача накопленной энергии аккумулятору с меньшим зарядом и фиксируется минимальное напряжение среди батарей секции (режим выравнивания). При этом, на интервале накопления энергии в дросселе, достаточно просто производить оценку внутреннего сопротивления батареи. При его недопустимом значении (вследствие старения) принимается решение о необходимости регламентных работ.

Специфика использования накопителей электрической энергии в системе электроснабжения железной дороги

Сокол Е.И., Замаруев В.В., Кривошеев С.Ю., Ереско А.В., Стысло Б.А.
НТУ «ХПИ»

Неравномерность потребления электроэнергии – одна из основных проблем систем электроснабжения. Во время движения состава по участку железной дороги,

находящегося между двумя соседними подстанциями, наблюдается пиковое потребление мощности и в результате, с определенной периодичностью, возникает локальный недостаток генерируемой электроэнергии. Следствием импульсного потребления энергии становится повышение потерь в линии электроснабжения, несимметричная нагрузка на питающую трехфазную сеть, максимальная просадка напряжения сети.

Отличительной особенностью сети электроснабжения железной дороги является возможность точного прогнозирования пиковых (как максимальных, так и минимальных) значений нагрузки. Очевидным средством организации баланса генерируемой и потребляемой мощности является введение в систему электроснабжения батарейной системы накопления электрической энергии (BESS), что позволяет снизить колебания потребляемой мощности и разнести во времени фазы накопления и отдачи потребителю электроэнергии. Применение BESS позволяет решить целый ряд задач: улучшить качество электрической энергии и снизить затраты на ее производство, сглаживая профиль загрузки генерирующих мощностей; увеличить ресурс электросетевого оборудования, снижая пиковую нагрузку на подстанции; интегрировать в существующую систему электроснабжения солнечные и ветровые генераторы электрической энергии; увеличивает надежность энергосистемы в целом.

Несмотря на широкую номенклатуру аккумуляторных накопителей электрической энергии, специфика использования их в BESS накладывает достаточно серьезные ограничения на выбор типа аккумулятора и обслуживающей его системы. Наилучшими энергетическими характеристиками, по мнению авторов, обладают LiFePO_4 аккумуляторные батареи, допускающие разрядный ток на уровне 10С. Из-за неизбежных различий в химических и электрических характеристиках, обусловленных производством, старением элементов в процессе эксплуатации, температурой окружающей среды, необходимо оценивать такие параметры аккумуляторных батарей как *состояние заряда* (SOC) и *состояние жизни* (SOH), а при их последовательном соединении, необходимо обеспечить выравнивание уровней напряжения на каждом из аккумуляторов во избежание его выхода за допустимые пределы (диапазон (2.0-3.65) В).

Одним из важных параметров, позволяющим оценить состояние батареи, является внутреннее сопротивление (R_0). Определить значение внутреннего сопротивления можно по изменению напряжения на батарее при нескольких значениях тока нагрузки. R_0 является функцией от SOC и имеет максимальное значение при $\text{SOC} < 0.1$. Как правило, сопротивление в режиме заряда ниже чем в режиме разряда. Параметр SOC определяет текущий уровень заряда батареи и изменяется в диапазоне от 0 до 1.0 (0..100%). Существуют различные способы измерения SOC. Наиболее простым методом является измерение передаваемого заряда (*Coulomb counting*). Наличие в эквивалентной схеме аккумулятора последовательной паразитной RC-цепи оказывает существенное влияние на параметры разрядного тока и напряжения на зажимах батареи, что было подтверждено в процессе разряда импульсным током аккумуляторной батареи AMP20M1HD-A. На основе проведенных исследований, можно сделать вывод о нецелесообразности применения разрядного тока с шириной импульса менее 100 мкс, поскольку в этом интервале времени наблюдается максимальное значение динамического внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи.